

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE



**EFFECTO DEL RIEGO CON AGUA MAGNETIZADA EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DEL AJO (*ALLIUM SATIVUM L.*)**

Por:

YOLANDA LÓPEZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
EFECTO DEL RIEGO CON AGUA MAGNETIZADA EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DEL AJO (*ALLIUM SATIVUM* L.)

Por:

YOLANDA LÓPEZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el H. Jurado Examinador.



Dr. Alejandro Zermeño González

Asesor Principal



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Asesor



Dr. José Alexander Gil Marín

Asesor



Ing. Kelly Amayrani Escalante Roblero

Asesor externo



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la División de Ingeniería

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
EFECTO DEL RIEGO CON AGUA MAGNETIZADA EN EL RENDIMIENTO Y
CALIDAD DEL AJO (*ALLIUM SATIVUM* L.)

Por:

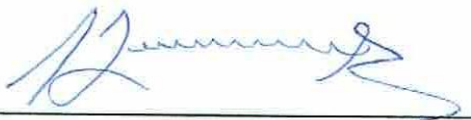
YOLANDA LÓPEZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

Aprobada por el comité de asesoría:



Dr. Alejandro Zermeno González

Asesor Principal



Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Asesor



Dr. José Alexander Gil Marín

Asesor



Ing. Kelly Amayrani Escalante Roblero

Asesor externo

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2026

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor del presente trabajo manifiesta que, durante su elaboración, se procuró observar los principios de integridad y ética académica, evitando prácticas como la reproducción de textos sin la debida referencia a la fuente original, el uso de material propio previamente publicado sin la correspondiente citación, la utilización de información, datos, imágenes, gráficos, ilustraciones, mapas o cualquier otro material de terceros sin reconocer su autoría o procedencia, así como cualquier otra conducta contraria a las buenas prácticas académicas.

Asimismo, declara que, hasta donde tiene conocimiento, el contenido presentado es resultado de su trabajo académico y que las fuentes consultadas han sido citadas y referenciadas conforme a los criterios establecidos para este tipo de documentos.

El autor reconoce la importancia del respeto a los derechos de autor y a la propiedad intelectual, y manifiesta su disposición a atender cualquier observación o aclaración que pudiera surgir respecto del contenido de este trabajo.



Atentamente

Yolanda López Pérez

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta importante etapa de mi vida. Por acompañarme en cada desafío, iluminar mi camino y permitirme alcanzar una de mis metas más significativas.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por brindarme el conocimiento, las experiencias y herramientas necesarias para mi formación profesional, dejando en mí momentos inolvidables.

A **mi familia**, por su apoyo incondicional, paciencia y confianza en cada etapa de este camino. Gracias por ser el pilar fundamental de mi formación personal y académica, por cada sacrificio realizado y por impulsarme siempre a seguir adelante con dedicación y compromiso.

Al **Dr. Alejandro Zermeño González**, por sus valiosas aportaciones, su disposición y su acompañamiento durante el desarrollo de este trabajo. Sus conocimientos, observaciones y consejos fueron fundamentales para la realización y culminación de esta investigación.

Al **Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho**, por su orientación académica y apoyo constante durante el desarrollo de esta investigación.

A la **M.C. Kelly Amayrani Escalante Roblero**, por su disposición, asesoría y valiosas recomendaciones, que contribuyeron significativamente al enriquecimiento y al fortalecimiento de este trabajo de investigación.

Al **Dr. José Alexander Gil Marín** por aceptar colaborar y contribuir en este trabajo de investigación.

A los maestros del **Departamento de Riego y Drenaje**: Dr. Alejandro Zermeño, Dr. Javier Cortés, Dr. Sergio Garza Vara, Dra. Manuela Bolívar, Dr. Fernando Villarreal, Dr. Luis Samaniego, MC. Aarón Meléndrez, MC. Tomás Reyna, MC. Gregorio Briones, Ing. Gil Fredy, MC. Edmundo Ramírez, Ing. José Mandujano, Ing. Carlos Rojas y Dr. Gil Marín, a la señora Vicki, Claudia, Mari e Ing. Araceli.

DEDICATORIA

A **mi familia**, a la memoria de mi madre, **Micaela Pérez López**, y a mi padre **Fidencio López Díaz**, les expreso mi más profundo agradecimiento por su amor, esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica. Gracias por creer en mí, por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar esta meta y por ser mi principal motivación para seguir adelante.

A mi hermana **Olga Dilia**, mi más sincero agradecimiento, por su compañía, por su apoyo incondicional, sus consejos y palabras de aliento en los momentos más difíciles. Gracias por estar presente en este proceso, por motivarme a seguir adelante cuando más lo necesitaba y por haber sido una pieza fundamental.

A mí hermano **Gonzalo López**, por su respaldo, confianza y por estar presente a lo largo de este recorrido. Gracias por contribuir de distintas maneras.

A mi comadre **Verónica Vilchis**, por tu apoyo y compañía durante esta etapa. Gracias por tu disposición para ayudarme y por tus consejos.

A mis sobrinos, **Dani, Nati, Josi, Fide, Sofi y Gon**, por llenar mi vida de alegría, cariño y momentos inolvidables.

A mis abuelos, **Andrés López, Manuela Díaz, Antonia López**, por sus enseñanzas, valores y ejemplo de trabajo y dedicación. Su amor y sabiduría han dejado una huella importante en mi vida.

A mis amigos y compañeros, **Alicia Baeza, Roxana Abigail, Kelly Escalante, Leo, Mauro, José Luis Espejel, Lorena Mera, Yuridia, Elvia, Gerardo Zabala y José Macedo**, quienes me acompañaron durante este proceso académico brindándome apoyo, comprensión y motivación. Gracias por su amistad, que fue un apoyo invaluable para la culminación de esta etapa.

Gracias por los momentos compartidos, por las palabras de aliento y por hacer de este camino una experiencia más enriquecedora y memorable.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS.....	2
OBJETIVOS.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
1. Origen del ajo.....	3
2. Taxonomía	4
3. Características morfológicas	4
3.1. Raíz.....	5
3.2. Tallo.....	5
3.3. Bulbo	5
3.4. Hojas	5
3.5. Flores	6
3.6. Fruto.....	6
4. Fisiología.....	6
5. Control fitosanitario del cultivo de ajo.....	8
5.1. Importancia del control fitosanitario en la producción de ajo	8
5.2. Principales plagas del cultivo de ajo.....	8
5.3. Principales enfermedades del cultivo de ajo	8
5.4. Manejo integrado de plagas y enfermedades	9
5.5. Requerimientos climáticos del cultivo de ajo	10
5.6. Requerimientos edáficos del cultivo de ajo	10

5.7.	Requerimientos de agua de riego	10
6.	Métodos de riego más utilizados en el cultivo de ajo	11
7.	Estudios previos sobre el riego por goteo en el cultivo de ajo	11
8.	Fertilización	12
9.	Contenido nutricional del ajo	12
10.	Propiedades terapéuticas y nutricionales del ajo.	13
10.1.	Beneficios para la salud	13
10.2.	Actividad antimicrobiana	13
10.3.	Propiedad antioxidante.....	14
10.4.	Propiedades antifúngicas	14
11.	Importancia económica y social del ajo	15
12.	Producción nacional	15
13.	Estados que lideran la producción del cultivo de ajo	15
14.	Exportación y/o importación de ajo en México.....	17
15.	Fundamentos del campo magnético y agua magnetizada.....	18
15.1.	Antecedentes históricos del magnetismo	18
15.2.	Definición del campo magnético.....	18
15.3.	Intensidad del campo magnético.....	19
15.4.	Materiales que forman los imanes.....	19
15.5.	Interacción del campo magnético con los sistemas biológicos	20
15.6.	Aplicaciones del campo magnético en la Agricultura.....	20
15.7.	Concepto de Agua Magnetizada (AM).....	20
15.8.	Aplicaciones agrícolas.....	21
15.9.	Investigaciones en diferentes cultivos.	22
MATERIALES Y MÉTODOS		24
Sitio Experimental.....		24
Características climáticas y edáficas del sitio experimental.		24
Propiedades físicas y químicas del suelo		24
Propiedades físicas y químicas del agua de riego.....		26
Establecimiento y manejo agronómico del cultivo		27
Programa nutrimental y dosis de aplicación		28
Control fitosanitario.....		29

Riego del cultivo	30
Magnetización del agua de riego	30
Diseño estadístico experimental	31
Variables de respuesta	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
CONCLUSIONES	39
BIBLIOGRAFÍA	40

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Principales estados productores de ajo en México	16
Cuadro 2.	Análisis físico-Químico de suelo del sitio experimental	25
Cuadro 3.	Análisis de agua del sitio experimental	27
Cuadro 4.	Dosis de aplicación nutrimental.....	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Demandas hídricas del cultivo de ajo	11
Figura 2. Área del trabajo experimental.	24
Figura 3. Preparación del terreno previo al establecimiento del cultivo de ajo. 28	
Figura 4. Distribución de los tratamientos en un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones.....	31
Figura 5. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el peso fresco del bulbo (g) de las plantas de ajo cv. Barretero.....	33
Figura 6. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el diámetro ecuatorial del bulbo (mm) de las plantas de ajo cv. Barretero.....	34
Figura 7. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el diámetro polar del bulbo (mm) de las plantas de ajo cv. Barretero.	35
Figura 8. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el número de dientes de los bulbos de plantas de ajo cv. Barretero.....	36
Figura 9. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre los grados Brix (g/mg) de los bulbos de plantas de ajo cv. Barretero.	37
Figura 10. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el pH de los bulbos de plantas de ajo cv. Barretero.....	38

RESUMEN

El ajo (*Allium sativum* L.) cv. Barretero jaspeado es una de las hortalizas de mayor importancia económica y culinaria en México y a nivel mundial, valorada no solo por sus características organolépticas, sino también por sus propiedades nutraceuticas. En México, la producción de ajo es un aspecto agrícola importante, ya que posiciona al país como exportador relevante, con zonas productoras clave en el norte y el centro del país. El ajo se cultiva principalmente en el norte de México, donde la agricultura enfrenta fuertes limitaciones debido a la escasez de agua, la aridez y la salinización progresiva de los suelos y los acuíferos. En los últimos años, el uso de dispositivos magnetizadores de agua ha surgido como una opción para modificar algunas propiedades físicas del agua, lo que favorece el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de las plantas. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del riego con agua magnetizada sobre los parámetros de rendimiento y calidad del ajo cv. Barretero jaspeado. El experimento se llevó a cabo en el campo experimental del Jardín Hidráulico del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila. Se utilizó un diseño en bloques al azar con dos tratamientos (agua con y sin magnetización) y cuatro repeticiones por tratamiento. Los resultados del estudio mostraron que los ajos de las plantas regadas con agua magnetizada presentaron un mayor número de dientes, un mayor diámetro ecuatorial y menos grados Brix. El riego con agua magnetizada no afectó el peso fresco del bulbo ni el diámetro polar ni el pH del jugo del ajo.

Palabras clave: ajo, *Allium Sativum* L., agua magnetizada, tensión de humedad del suelo.

ABSTRACT

Garlic (*Allium Sativum* L.) cv. Barretero jaspeado is one of the most economically and culinary important vegetables in Mexico and worldwide, valued not only for its organoleptic characteristics, but also for its nutraceutical properties. In Mexico, garlic production is an important agricultural sector, positioning the country as a significant exporter, with key production areas in the north and central regions. Garlic is primarily cultivated in northern Mexico, where agriculture faces severe limitations due to water scarcity, aridity, and the progressive salinization of soils and aquifers. In recent years, the use of water magnetization devices has emerged as a means to modify certain physical properties of water, thereby promoting plant growth, development, and yield. The objective of this study was to evaluate the effect of irrigation with magnetized water on the yield and quality parameters of garlic cv. Barretero jaspeado. The experiment was conducted in the experimental field of the Hydraulic Garden of the Irrigation and Drainage Department at the Antonio Narro Autonomous Agrarian University in Saltillo, Coahuila. A randomized block design was used with two treatments (water with and without magnetization) and four replicates per treatment. The study results showed that garlic from plants irrigated with magnetized water had more cloves, a larger equatorial diameter, and lower Brix levels. Irrigation with magnetized water did not affect the fresh weight of the bulb, the polar diameter, nor the pH of the garlic juice.

Key words: garlic, *Allium Sativum* L., magnetized water, soil moisture tension.

INTRODUCCIÓN

Debido a su aplicación en las industrias alimentaria y farmacéutica, el ajo (*Allium sativum* L.) constituye una de las hortalizas de bulbo de mayor relevancia económica y nutricional a nivel mundial. Esta especie se caracteriza por su alto contenido de compuestos bioactivos y de nutrientes esenciales. Adicionalmente, el ajo contiene diversos compuestos terapéuticos y farmacológicos de importancia para la salud humana (Di Benedetto, 2023).

Es una de las hortalizas más rentables a nivel nacional y de gran importancia económica, ya que genera beneficios significativos y constituye una fuente de empleo importante en actividades relacionadas con su producción y comercialización. Se cultiva en 20 entidades del país. Los principales estados productores son Zacatecas, Guanajuato, Puebla y Baja California, que aportan el 87.1 por ciento de la producción nacional. Con una superficie cultivada de 7,567.30 ha (SIAP, 2024).

La calidad del ajo se evalúa principalmente a partir de las características físicas del bulbo, entre las que se incluyen el peso y el diámetro, considerados criterios clave en su comercialización. Además de su aspecto sanitario y del buen estado de las túnicas externas que cubren y protegen los dientes, lo cual constituye un factor fundamental (Macías-Duarte, 2010).

Debido a la gran importancia del ajo, es fundamental evaluar alternativas de manejo que contribuyan a mejorar el rendimiento y la calidad de este cultivo. En este contexto, el riego con agua magnetizada ha despertado interés en el ámbito agrícola por los efectos que se le atribuyen sobre la germinación, el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Asimismo, la búsqueda de una mayor producción de cultivos con el uso eficiente de los recursos ha impulsado investigaciones enfocadas en tecnologías innovadoras, entre las que destaca el agua magnetizada por su potencial para mejorar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, al tratarse de una alternativa de bajo costo y con requerimientos energéticos mínimos o nulos (Martínez, 2003 & Lorenzoni, 2021).

HIPÓTESIS

El riego con agua magnetizada incrementa el rendimiento y la calidad del ajo.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluar el efecto del riego con agua magnetizada sobre el crecimiento y el rendimiento del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.).

Objetivos específicos:

Determinar las diferencias en el rendimiento y la calidad del ajo al regarlo con agua magnetizada y sin magnetizar.

JUSTIFICACIÓN

En México no se cuenta con información sobre el uso de agua magnetizada en el riego del ajo. Por lo tanto, es fundamental realizar investigaciones para evaluar el efecto del riego con agua magnetizada sobre el rendimiento y la calidad de este cultivo, y su posible recomendación a los productores de ajo.

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Origen del ajo

El ajo común (*Allium sativum* L.) es una especie que, según la taxonomía moderna, pertenece a la familia de las Alliáceas. Su centro de origen se sitúa en la región del antiguo Turkestán, en los límites con China, Afganistán e Irán, un área que actualmente comprende territorios de Turkmenistán, Kirguistán, Kazajistán y Tayikistán. A partir de esta zona, la especie se dispersó en distintas direcciones: hacia el este, alcanzando China e India, donde se desarrollaron los denominados tipos asiáticos; y hacia el oeste, extendiéndose al norte del continente europeo, donde surgieron los tipos continentales, así como en las regiones costeras del mar Mediterráneo, donde se originaron los tipos mediterráneos. Como resultado de este proceso y de la expansión y adaptación a diferentes condiciones ambientales, se generó la amplia diversidad de cultivares de ajo que se conocen actualmente (Burba, 2003).

Tras varios siglos de cultivo en nuevas regiones geográficas, el ajo experimentó procesos de adaptación a distintas condiciones climáticas, lo que dio origen a una amplia diversidad de cultivares actualmente agrupados en cinco grandes conjuntos dentro de la especie *Allium sativum* L. (Velarde-Mendivil, 2021).

2. Taxonomía

De acuerdo con el sistema de clasificación propuesto por el Angiosperm Phylogeny Group (APG), el género *Allium* se encuentra taxonómicamente dentro de la familia Amaryllidaceae, en la subfamilia Allioideae, del orden Asparagales. Esta familia incluye especies caracterizadas por un hábito de crecimiento geofítico, hojas de morfología lineal y flores hermafroditas con ovario súpero. Dicha delimitación taxonómica ha sido redefinida a partir de estudios filogenéticos moleculares, que han permitido integrar la antigua familia Alliaceae dentro de Amaryllidaceae, en concordancia con las relaciones evolutivas del grupo (Stavělíková, 2008; Meerow, 2023).

Bajo este esquema sistemático, la clasificación taxonómica del ajo corresponde a la siguiente jerarquía:

Reino: ***Plantae***

División: ***Angiospermae***

Clase: ***Monocotyledóneas***

Orden: ***Asparagales***

Familia: ***Amaryllidaceae***

Subfamilia: ***Allioideae***

Género: ***Allium***

Especie: ***Allium sativum L.***

3. Características morfológicas

El ajo es una planta herbácea bulbosa perenne que alcanza una altura de aproximadamente 50 cm. Antes de desarrollar el bulbo, presenta una apariencia muy similar a la de la cebolla. La especie *Allium sativum L.* no produce semillas sexuales debido a su naturaleza apomíctica, por lo que su multiplicación ocurre únicamente mediante propagación vegetativa (Pinzón, 2003).

Asimismo, desarrolla bulbos de olor característico y raíces adventicias que se distribuyen a profundidades de entre 5 y 45 cm (Reveles-Hernández & Velásquez-Valle, 2009).

3.1. Raíz

Las raíces del ajo presentan una estructura fasciculada y una escasa ramificación, lo que influye en la capacidad de la planta para explorar el suelo. Aunque su distribución se concentra principalmente en las capas superficiales, pueden alcanzar profundidades mayores a 50 cm, permitiendo una mejor captación de humedad y elementos nutritivos esenciales, contribuyendo así a un adecuado crecimiento fisiológico y desarrollo productivo (Pinzón, 2003).

3.2. Tallo

El tallo es reducido y comprimido, en forma de disco o plato, conocido como base del bulbo, en la cual se desarrollan e insertan las hojas. En las yemas de las hojas jóvenes se desarrollan meristemas que originan los bulbillos conocidos comúnmente como dientes (Burba, 2003).

3.3. Bulbo

El ajo desarrolla un bulbo compuesto, integrado por diversas vainas foliares delgadas que envuelven pequeñas estructuras engrosadas llamadas dientes o bulbillos. Cada uno de estos dientes corresponde a una yema capaz de originar una planta durante su propagación vegetativa. Esta organización del bulbo es una de las diferencias morfológicas más importantes entre el ajo y la cebolla, cuyo bulbo está constituido por capas continuas y no por divisiones claramente separadas. El ajo forma un bulbo subdividido en segmentos, mientras que la cebolla forma un bulbo simple y compacto (Pinzón, 2003)

3.4. Hojas

La porción superior de este anillo meristemático se alarga, lo que da lugar a la formación de una hoja verdadera. Posteriormente, en la yema apical se origina una nueva hoja que permanece envuelta por la base de la hoja ya desarrollada, lo que le proporciona protección durante sus primeras etapas de crecimiento.

A medida que se generan nuevas hojas, el espacio circular formado por las bases foliares aumenta continuamente, lo que facilita la emergencia y el desarrollo sucesivo de hojas jóvenes. Este proceso constituye una parte importante del crecimiento vegetativo de la planta (Pinzón, 2003).

3.5. Flores

El ajo desarrolla flores escasas de color blanco o rojizo, que se agrupan formando una inflorescencia similar a un ramillete, en la que cada flor posee seis estambres. La floración normalmente ocurre durante el segundo año de desarrollo de la planta. La inflorescencia del ajo se clasifica como una umbela, ya que las flores nacen de un mismo punto de origen o meristemo común. Antes de que las flores nazcan desde un mismo punto de origen o meristemo común. Antes de que las flores se formen por completo, el tallo floral se alarga y el meristemo apical aumenta de tamaño y, posteriormente, se divide en varios puntos de crecimiento floral. El desarrollo de las flores dentro del racimo no es uniforme, ya que el tamaño y la velocidad de su formación pueden variar según el genotipo de la planta (Di Benedetto, 2023).

3.6. Fruto

El ajo produce un fruto de tipo cápsula, generalmente con una capacidad de una a dos semillas. No obstante, en condiciones de clima templado, la floración ocurre de manera limitada y, cuando se presenta, la producción de semillas viables suele ser escasa o inexistente, lo que restringe su reproducción sexual (Di Benedetto, 2023).

4. Fisiología

Desde el punto de vista fisiológico, el desarrollo de la planta de ajo comprende tres etapas principales: la brotación, el crecimiento vegetativo y la fase reproductiva, que incluye la bulbificación, la floración.

Cada una de estas fases se caracteriza por cambios en la distribución y la acumulación de biomasa, reflejados en el incremento de la materia seca tanto en los órganos aéreos como en el bulbo (Di Benedetto, 2023).

Durante esta etapa, la correcta implementación de prácticas agronómicas, como una densidad de siembra adecuada, una fertilización balanceada, un manejo eficiente del riego y el control oportuno de plagas y enfermedades, favorece la expansión foliar, acelera la formación del bulbo y contribuye a su desarrollo adecuado (Pinzón, 2003).

4.1. Fisiología del crecimiento

La fase de crecimiento vegetativo comprende el periodo que va desde la emergencia de la planta hasta el comienzo de la bulbificación, momento en el que el desarrollo foliar empieza a disminuir (Pinzón, 2003).

- **Brotación**

Abarca desde la siembra hasta la emergencia de las plántulas. Su duración está determinada principalmente por las condiciones de temperaturas mínimas nocturnas, el fotoperiodo y la disponibilidad adecuada del agua en el suelo.

- **Crecimiento vegetativo**

Constituye el periodo de mayor duración del ciclo del cultivo. Su extensión depende, en gran medida de las temperaturas mínimas registradas durante el invierno y del fotoperiodo alcanzado al final de esta estación cuando las temperaturas bajas se mantienen de forma constante.

- **Desarrollo vegetativo acelerado**

Durante esta etapa, la planta incrementa rápidamente su altura y la emisión de hojas. La duración de este periodo está condicionada por un fotoperiodo específico que puede variar entre variedades.

Esta etapa es relevante porque en ella ocurren simultáneamente el desarrollo intenso del follaje y el inicio del proceso de formación del bulbo.

- **Engrosamiento acelerado del bulbo**

Etapa en la que este órgano alcanza su mayor velocidad de acumulación de reservas y de aumento de tamaño. Su duración depende principalmente de las temperaturas mínimas diarias. A diferencia de fases previas, en este caso, son las temperaturas nocturnas elevadas las que

influyen en la transición hacia la siguiente etapa fenológica, por lo que las noches cálidas en primavera pueden adelantar la maduración.

- **Llenado final del bulbo**

Se extiende desde el inicio de la senescencia hasta la muerte de la parte aérea de la planta. De manera similar a la etapa anterior, su duración está regulada por las temperaturas mínimas (7° a 10°) (Burba, 2003; Di Benedetto, 2023).

5. Control fitosanitario del cultivo de ajo

5.1. Importancia del control fitosanitario en la producción de ajo

La prevención y el control de enfermedades dependen de un enfoque integral de manejo del cultivo, en el que el uso adecuado de productos fitosanitarios eficaces favorece la disminución de la incidencia de enfermedades en la postcosecha (Ramírez-Jiménez, 2025).

5.2. Principales plagas del cultivo de ajo

Los trips (*Thrips tabaci*) ocasionan daños en las hojas, lo que genera una apariencia plateada característica. Su control se justifica cuando las poblaciones alcanzan niveles capaces de afectar económicamente la producción (Burba, 2003).

5.3. Principales enfermedades del cultivo de ajo

- **Pudrición blanca**

La enfermedad causada por *Sclerotium cepivorum* Berk constituye un factor limitante para la producción de ajo, ya que su incidencia puede comprometer significativamente el rendimiento del cultivo. En casos severos, las pérdidas productivas pueden alcanzar el 80 % de la cosecha (Reveles-Hernández & Velásquez-Valle, 2009).

- **Pudrición por *Fusarium***

Fusarium spp. son hongos fitopatógenos que afectan al cultivo de ajo en diferentes etapas de desarrollo. Su presencia puede provocar la pudrición de la semilla y, en plantas adultas, manifestarse con síntomas como amarillamiento, deformación foliar y necrosis foliar.

- **Pudrición por *Penicillium***

Penicillium spp. son hongos que pueden afectar negativamente el establecimiento del cultivo de ajo, ya que reducen la capacidad de germinación de la semilla. En las plantas emergidas, la infección puede manifestarse mediante síntomas como clorosis, debilitamiento general y crecimiento deficiente.

- **Pudrición por nematodos**

Entre los nemátodos que afectan al cultivo del ajo, *Ditylenchus dipsaci* se considera el de mayor importancia. Las plantas afectadas presentan crecimiento reducido, engrosamiento del pseudotallo, amarillamiento de las hojas y una disminución general del vigor.

- **Enfermedades por virus**

Entre los principales virus que afectan el cultivo de ajo se encuentran el virus del enanismo amarillo de la cebolla, el virus de la franja amarilla del puerro, el virus latente común del ajo y el virus del jaspeado del tabaco. La mayoría de estas virosis se transmiten por medios mecánicos o por pulgones, provocando síntomas como amarillamiento en franjas en las hojas, deformaciones foliares, reducción del crecimiento y enrollamiento de las hojas (Reveles-Hernández & Velásquez-Valle, 2009; Ramírez-Jiménez, 2025).

5.4. Manejo integrado de plagas y enfermedades

Es una estrategia que combina diferentes métodos de prevención y control, implementados de manera oportuna y complementaria, para reducir la incidencia de plagas y minimizar las pérdidas económicas en la producción agrícola (Vivas-Carmona, 2017).

5.5. Requerimientos climáticos del cultivo de ajo

Aunque el ajo tolera bien las bajas temperaturas, la formación y el llenado de los bulbos se favorecen con temperaturas elevadas y días largos. La germinación puede ocurrir desde 2 °C hasta aproximadamente 24 °C, la temperatura más favorable para este proceso. Durante el crecimiento vegetativo, el cultivo se desarrolla mejor entre 12 °C y 23 °C, mientras que temperaturas inferiores a 5°C limitan su desarrollo (Shemesh-Mayer, 2022).

5.6. Requerimientos edáficos del cultivo de ajo

Los mejores rendimientos se obtienen en suelos ligeros y bien drenados; no obstante, también puede cultivarse en suelos arcillosos con drenaje adecuado. Cambios bruscos en la humedad del suelo pueden provocar el agrietamiento de los bulbos. Además, presenta tolerancia moderada a la salinidad y baja tolerancia a la acidez (Di Benedetto, 2023).

El cultivo de ajo se adapta a una amplia variedad de condiciones edáficas, desarrollándose adecuadamente en suelos con valores de pH entre 5 y 7.5. Además, presenta tolerancia moderada tanto a la acidez como a la salinidad y puede crecer en suelos calcáreos. Los mejores resultados se obtienen en suelos de textura franca, franco-arcillosa o franco-limosa (Ruiz C., 2013).

5.7. Requerimientos de agua de riego

El manejo del riego en el cultivo de ajo presenta una amplia variedad de criterios y prácticas. La determinación de las estrategias de riego depende de diversos factores, entre los que destacan la etapa de desarrollo de las plantas, las propiedades físico-químicas del suelo, las condiciones climáticas de la región, los requerimientos hídricos del ecotipo cultivado y la calidad del agua disponible (Franco, 2014).

Si bien el riego es la práctica más utilizada para la reproducción del ajo, esta especie también puede prosperar en áreas donde la precipitación anual oscila entre 450 y 1000 mm (Ruiz C., 2013). Para optimizar el crecimiento y el desarrollo

del cultivo, el suministro de agua debe adaptarse a las necesidades específicas de cada etapa fisiológica.

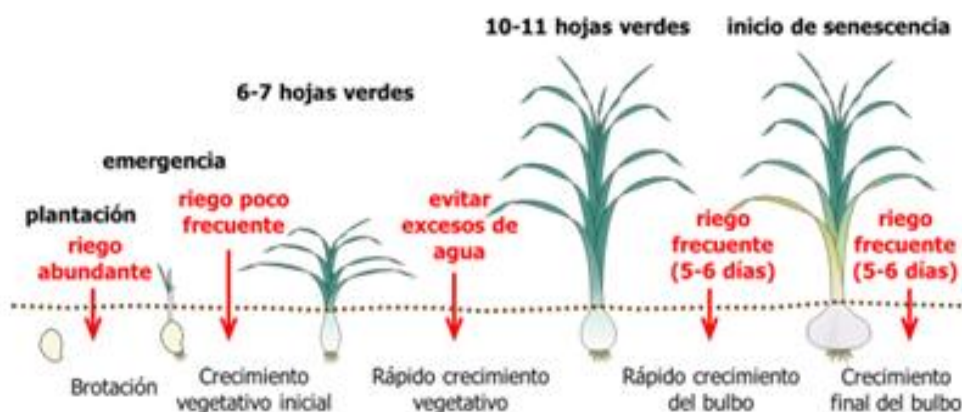


Figura 1. Demandas hídricas del cultivo de ajo (Di Benedetto, 2023).

6. Métodos de riego más utilizados en el cultivo de ajo

Entre los métodos de riego más utilizados en el cultivo de ajo, destaca el riego por goteo por su eficiencia en el uso del agua y por su capacidad para suministrarla directamente a la zona radicular, lo que elimina las pérdidas por escurrimiento y percolación. Este sistema permite una distribución uniforme de la humedad y contribuye a mejorar la productividad del cultivo (Reveles-Hernández & Velásquez-Valle, 2009; López, 2010).

7. Estudios previos sobre el riego por goteo en el cultivo de ajo

Diversas investigaciones han evidenciado que el sistema de riego por goteo permite un mayor ahorro de agua y una mayor eficiencia en su uso, en comparación con el riego por surcos. Esto se debe principalmente a que, en el riego por surcos, es necesario aplicar un volumen suficiente de agua para mantener la humedad de la zona radicular (Barrios-Díaz, 2005; Reveles-Hernández & Velásquez-Valle, 2009).

8. Fertilización

La efectividad de la fertilización puede variar en función del tipo de suelo, el manejo agronómico implementado, las condiciones ambientales y la variedad cultivada (Reveles & Velásquez, 2009).

En condiciones de producción bajo riego y altas densidades de siembra, las recomendaciones desarrolladas para las condiciones productivas en el estado de Zacatecas sugieren dosis de fertilización de 250 kg de nitrógeno, 100 kg de fósforo, 265 kg de potasio y 120 kg de calcio. Asimismo, se sugiere aplicar una parte de estos nutrientes como fertilización de fondo y el resto mediante fertirriego durante el ciclo del cultivo (Reveles & Velásquez, 2009).

El ajo presenta una elevada demanda nutricional durante su crecimiento y desarrollo. Entre los nutrientes más importantes destacan el nitrógeno, por su función en el crecimiento vegetativo; el potasio, por su participación en el transporte de fotoasimilados y en la tolerancia al estrés ambiental; el fósforo, por su contribución al desarrollo de la planta, aunque en una cantidad mínima; y el azufre, que interviene en la síntesis de compuestos azufrados distintivos del ajo, como la alicina (Wang, 2021).

9. Contenido nutricional del ajo

El ajo posee un alto valor nutritivo, contiene muy pocas calorías y es rico en vitamina C, vitamina B6 y manganeso (SIAP, 2019). Desde el punto de vista nutricional, el ajo contiene diversos nutrientes esenciales. Por cada 100 gramos de ajo hay 1.20 mg de hierro, 4.30 g de proteínas, 17.80 mg de calcio y 1.20 g de fibra. Además, destacan sus concentraciones de potasio (446 mg), yodo (4.70 mg), sodio (1.10 mg) y fósforo (134 mg). También posee vitaminas A, B1, B2, B9, C, E y K, así como un aporte energético de 119 kcal, 0.23 g de grasa y 2.21 g de azúcar (Maza, 2014).

10. Propiedades terapéuticas y nutricionales del ajo.

El ajo se ha utilizado con fines terapéuticos desde tiempos muy antiguos. Según Beroso, historiador del siglo III a. C., en Mesopotamia se recomendaba triturar ajo para combatir la halitosis, se aplicaban cataplasmas de ajo machacado como analgésicos y se preparaba una bebida de ajo con efecto antiparasitario. En Egipto, se utilizaba el ajo mezclado con miel para taponar las caries y aliviar las picaduras de insectos, y los esclavos hebreos recibían grandes cantidades de ajo para prevenir epidemias. La presencia de bulbos de ajo en la tumba de Tutankamón evidencia la importancia que se le otorgaba tanto en vida como en la muerte. El papiro de Eber (1500 a.C.) incluye 22 formulaciones a base de ajo destinadas al tratamiento de infecciones, faringitis, tumores y debilidad física. En Grecia, el ajo es reconocido por sus propiedades desinfectantes (Causapé, 2012).

Los extractos obtenidos de plantas del género *Allium*, en particular del ajo y la cebolla, constituyen un grupo relevante de ingredientes de origen vegetal utilizados con fines funcionales. A lo largo de la historia, ambas especies han sido reconocidas por su notable potencial terapéutico, atribuido principalmente a su elevado contenido de compuestos organosulfurados, entre los que destacan los tiosulfatos, tiosulfonatos y diversos sulfuros (Baños & Guillamón, 2014).

10.1. Beneficios para la salud

Diversas investigaciones han documentado el uso del ajo en el manejo de afecciones respiratorias, incluyendo tos, asma, bronquitis y tuberculosis. De igual manera, evidencia reciente sugiere un posible efecto preventivo frente al desarrollo de cierto tipo de cáncer (Maza, 2014).

10.2. Actividad antimicrobiana

Estas sustancias tienen la capacidad de interactuar con y modificar ciertos procesos fisiológicos en los organismos animales, lo que contribuye a efectos favorables en la prevención y el tratamiento de diversas enfermedades. Asimismo, se le atribuyen propiedades antibióticas debido a su marcada actividad antimicrobiana de amplio espectro (Baños & Guillamón, 2014).

10.3. Propiedad antioxidante

El ajo (*Allium sativum* L.) contiene diversos compuestos biológicamente activos; entre los que destacan la alicina, aliina, ajoeno y cisteína. Estas sustancias poseen importantes propiedades antioxidantes (Ríos, 2024). Principalmente, con dimetilsulfóxido, un compuesto con capacidad antioxidante por su acción sobre los radicales libres. Asimismo, el ajo contiene selenio, un mineral que contribuye a la actividad antioxidante. El consumo de ajo puede modificar el equilibrio oxidativo mediante la activación de enzimas vinculadas al glutatión y al sistema del citocromo P-450, entre ellas el glutatión peroxidasa, el glutatión reductasa y el glutatión S-transferasa. Además, los compuestos azufrados del ajo podrían actuar como regeneradores del glutatión reducido y como antioxidantes directos (García, 2000).

10.4. Propiedades antifúngicas

Los compuestos activos presentes en el ajo han demostrado actividad antifúngica frente a diversos hongos, como *Candida*, *Trichophyton*, *Aspergillus* y *Rhodotorula*. Esta actividad se atribuye a dicha sustancia del ajo que ejercen la acción mediante la reducción del consumo de oxígeno de los microorganismos, afectando su crecimiento e inhibir la síntesis de lípidos, proteínas y ácidos nucleicos (Ramírez-Concepción, 2016).

11. Importancia económica y social del ajo

El ajo es un cultivo hortícola de gran importancia económica y social debido a su amplia demanda en los mercados nacionales e internacionales. Además de su valor comercial, contribuye a la generación de empleos en las actividades relacionadas con su producción, manejo, cosecha y comercialización.

Asimismo, el ajo ocupa un lugar relevante en la alimentación por su uso como condimento en diversas preparaciones culinarias. También es reconocido por sus propiedades medicinales lo que ha incrementado su interés tanto en la industria alimentaria como en la farmacéutica. Es por ello que el ajo representa un cultivo estratégico para numerosas regiones agrícolas (Sánchez-Toledano, 2026).

12. Producción nacional

En 2024, la producción de ajo en México alcanzó un total de 103,140.22 toneladas (con una variación de -2.7% en comparación con 2023); dicho volumen fue obtenido de 7,567.30 hectáreas cosechadas, por lo que el rendimiento promedio nacional quedó en 13.6 toneladas por hectárea. El precio promedio a nivel nacional fue de \$21,355 pesos por tonelada, lo que implicó una variación interanual de 0.5 % (SIAP, 2024).

13. Estados que lideran la producción del cultivo de ajo

Zacatecas lideró con 62,432 toneladas producidas; es decir, el 58.3 % del total nacional. Le siguieron Guanajuato con 12,609.79 toneladas (12.5 %), Puebla con 5120.70 toneladas (5.7 %), Sonora con 5286 toneladas (4.9 %) y Baja California con 4661 toneladas (4.4 %). Cabe mencionar que en 2024 un total de 20 entidades federativas reportaron producción de ajo, según los datos oficiales de la Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (DGSIAP), la dependencia gubernamental encargada de generar estadísticas e información geográfica en materia agroalimentaria, de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER).

Cuadro 1. Principales estados productores de ajo en México

	Entidad	Superficie (ha)			Producción	Rendimiento (ton/ha)	PMR (\$/ton)	Valor Producción (miles de Pesos)
		Sembrada	Cosechada	Siniestrada				
1	Aguascalientes	185	185	0	2,634.75	14.24	21,424.88	56,449.19
2	Baja California	394.5	394.5	0	4,661.24	11.82	23,286.33	108,543.19
3	B.C. Sur	70	16	54	150.82	9.43	26,248.83	3,958.85
4	Coahuila	3.1	3.1	0	22.01	7.1	35,500.00	781.36
5	Chihuahua	183.5	183.5	0	2,469.50	13.46	40,451.89	99,895.95
6	Guanajuato	1,028.00	1,028.00	0	12,609.79	12.27	27,994.27	353,001.85
7	Guerrero	129	129	0	441.11	3.42	18,377.47	8,106.49
8	Hidalgo	35.89	35.89	0	310.44	8.65	24,994.56	7,759.31
9	Jalisco	19	19	0	266.19	14.01	29,870.00	7,951.10
10	Michoacán	3.5	3.5	0	24.29	6.94	15,220.00	369.69
11	Nuevo León	154	154	0	2,296.52	14.91	21,543.23	49,474.45
12	Oaxaca	208.46	208.46	0	1,726.19	8.28	24,608.69	42,479.28
13	Puebla	579	579	0	5,120.70	8.84	18,658.74	95,545.83
14	Querétaro	55	55	0	455.5	8.28	41,162.50	18,749.52
15	San Luis Potosí	95.25	95.25	0	784.63	8.24	15,095.15	11,844.11
16	Sonora	616.5	616.5	0	5,286.20	8.57	31,549.79	166,778.48
17	Tlaxcala	43	43	0	254.56	5.92	25,246.30	6,426.70
18	Veracruz	69	69	0	1,093.20	15.84	14,356.37	15,694.38
19	Zacatecas	3,695.60	3,624.60	71	62,432.58	17.22	18,217.51	1,137,366.22
Total		7,567.30	7,442.30	125	103,040.22	13.85	21,265.25	2,191,175.94

Fuente: (SIAP, 2024)

14. Exportación y/o importación de ajo en México.

De acuerdo con información de la Secretaría de Economía (2024), durante 2024 el valor total del comercio exterior de ajos frescos o refrigerados en México, considerando exportaciones e importaciones, fue de aproximadamente 103 millones de dólares. En relación con las exportaciones, las entidades con mayor participación fueron Guanajuato y Baja California, con valores de 16.9 y 15.8 millones de dólares, respectivamente. También destacaron Aguascalientes (16.9 millones de dólares), Sonora (1.26 millones de dólares) y Zacatecas (15.9 millones de dólares), aunque con menor participación en el mercado internacional. Respecto a los destinos comerciales de las exportaciones mexicanas de ajo, Estados Unidos se mantuvo como el principal mercado receptor y concentró la mayor parte del valor exportado. Otros destinos importantes fueron Australia, Guadalupe, Martinica y Francia.

En relación con las importaciones, los principales países proveedores fueron Perú, Chile y Argentina, que concentraron gran parte del abastecimiento internacional de ajo en México (Economía, 2024). A nivel internacional, en 2022, China se posicionó como el principal exportador mundial de ajo fresco o refrigerado, seguido de España y Argentina. Por otro lado, los principales importadores de este producto fueron Indonesia, Estados Unidos y Vietnam.

15. Fundamentos del campo magnético y agua magnetizada

15.1. Antecedentes históricos del magnetismo

Los antecedentes del magnetismo se remontan a las primeras civilizaciones, las cuales observaron fenómenos de atracción en ciertos minerales naturales, particularmente la magnetita o piedra imán. Civilizaciones como la egipcia, china, griega y romana realizaron importantes aportaciones al conocimiento de los fenómenos magnéticos y eléctricos. Posteriormente, durante la Edad Media, el descubrimiento y utilización de la brújula permitió aprovechar las propiedades magnéticas para la navegación, mientras que en la Edad Moderna diversos estudios científicos contribuyeron a comprender el comportamiento del campo magnético terrestre y sentaron las bases del geomagnetismo moderno (Carbonell, 2017).

En la superficie terrestre se distinguen dos tipos de meridianos: el geográfico y el magnético. La separación angular entre ambos se conoce como declinación magnética y varía según la ubicación geográfica. Asimismo, la aguja magnética forma un ángulo con el plano horizontal denominado inclinación magnética, fenómeno relacionado con la distribución del campo magnético terrestre (Carbonell, 2017).

15.2. Definición del campo magnético

El campo magnético es una región del espacio generada por imanes, corrientes eléctricas o cargas eléctricas en movimiento, capaz de ejercer fuerzas de atracción o repulsión sobre determinados materiales y partículas. Este fenómeno constituye uno de los principales objetos de estudio del magnetismo y permite explicar la interacción entre materiales magnéticos y fuentes generadoras de campos magnéticos (Santamaría, 2016).

La intensidad y dirección del campo magnético determinan la magnitud de los efectos producidos sobre los materiales expuestos. Los campos magnéticos pueden encontrarse de manera natural, como ocurre con el campo magnético

terrestre, o ser generados artificialmente mediante dispositivos electromagnéticos o imanes permanentes.

15.3. Intensidad del campo magnético

La intensidad del campo magnético es una magnitud vectorial que describe la acción de dicho campo en el espacio. Esta depende de la corriente eléctrica y de la distancia respecto a la fuente generadora, sin depender de las propiedades del medio. En el Sistema Internacional de Unidades, la intensidad del campo magnético se expresa en amperios por metro (A/m) (Torres, 2005). La relación entre el campo magnético y la corriente eléctrica se establece mediante la ley de Ampère. La intensidad del flujo magnético se expresa en teslas (T) o gauss (G), donde $1\text{ T} = 10\,000\text{ gauss}$.

15.4. Materiales que forman los imanes

El magnetismo es un fenómeno físico asociado a ciertos materiales que poseen la capacidad de generar fuerzas de atracción sobre elementos metálicos específicos, principalmente hierro, níquel y cobalto, así como sobre algunas aleaciones de acero. Los materiales que manifiestan esta propiedad se denominan imanes y se caracterizan por poseer dos polos magnéticos opuestos, conocidos como polo norte y polo sur (Pérez-Alcázar, 2016).

Los imanes pueden clasificarse según los materiales empleados en su fabricación. Entre los más empleados se encuentran los imanes cerámicos, elaborados a partir de compuestos de óxido de hierro; los imanes alnico, constituidos por aluminio, níquel, y cobalto; los imanes flexibles, desarrollados mediante mezclas de óxido de hierro con carbonato de bario o estroncio; y los imanes de neodimio, reconocidos por estar compuestos principalmente de neodimio, hierro y boro, lo que les proporciona una elevada intensidad magnética (Luna, 2015).

15.5. Interacción del campo magnético con los sistemas biológicos

La exposición de los organismos biológicos a campos magnéticos con intensidades superiores a las del campo magnético terrestre puede provocar diversas respuestas fisiológicas (Insua, 2009). Entre los principales efectos observados se encuentra el incremento de la actividad enzimática y una mayor eficiencia en los procesos relacionados con la división celular, lo que puede favorecer el desarrollo biológico de los organismos (Torres, 2008; Lasso-Rivas, 2019).

15.6. Aplicaciones del campo magnético en la Agricultura

A lo largo del tiempo, los estudios científicos han analizado la influencia de los campos magnéticos estáticos sobre los organismos vegetales. Los resultados indican que este tipo de campos puede favorecer diferentes etapas del crecimiento de las plantas, como la germinación de semillas, el desarrollo del tallo y la producción de frutos. Investigaciones realizadas en cultivos como trigo, arroz, maíz y algodón han demostrado respuestas positivas ante la exposición magnética (Luna, 2015; Huamaní, 2022).

Investigaciones en el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*) indicaron que la aplicación de campos magnéticos estacionarios de baja intensidad (5 mT y 10 mT) produjo efectos positivos en la germinación y el crecimiento de las plantas (Torres, 2008). Estos resultados han impulsado el desarrollo de tecnologías basadas en magnetismo para su aplicación en sistemas agrícolas.

15.7. Concepto de Agua Magnetizada (AM)

El agua magnetizada es el resultado de la exposición del agua a un campo magnético adecuado. Este proceso puede modificar algunas de sus propiedades físicas y químicas debido a un posible reordenamiento de sus moléculas. Esto podría influir en el comportamiento de las sales disueltas, alterando su solubilidad y la forma en que cristalizan (Martínez, 2003).

La magnetización del agua se realiza mediante dispositivos que exponen el flujo de agua a un campo magnético generado por imanes permanentes o electroimanes (Tamari, 2001).

15.8. Aplicaciones agrícolas

El agua es un componente esencial de los sistemas biológicos, ya que participa en la mayoría de los procesos celulares y metabólicos. El tratamiento magnético del agua, basado en el fenómeno de inducción electromagnética, puede alterar algunas de sus propiedades fisicoquímicas, como la tensión superficial y la solubilidad de ciertos compuestos. Estas modificaciones podrían influir en los procesos biológicos y en su uso en sistemas agrícolas e industriales (Espinosa-Álvarez, 1997).

El uso de agua magnetizada en la agricultura ha sido objeto de diversas investigaciones por sus posibles efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Este tratamiento consiste en exponer el agua a campos magnéticos con la finalidad de modificar algunas de sus propiedades físicas y químicas, lo que potencialmente favorece la absorción de nutrientes y el aprovechamiento hídrico por parte de los cultivos.

Diversos estudios han reportado que el riego con agua magnetizada puede influir positivamente en procesos fisiológicos como la germinación, el crecimiento radicular, la altura de la planta y la producción agrícola. Asimismo, algunos autores señalan que este tipo de agua podría mejorar la movilidad de los minerales y la permeabilidad celular, facilitando el transporte de nutrientes dentro de la planta (Zamora-Oduardo, 2020; de Medeiros Rapôso, 2014). En diferentes cultivos de interés agronómico se han observado respuestas favorables al uso de agua tratada magnéticamente, aunque los resultados dependen de factores como la intensidad del campo magnético, el tiempo de exposición y las condiciones del cultivo.

15.9. Investigaciones en diferentes cultivos.

La aplicación de un campo magnético al agua de riego puede favorecer el crecimiento de las plantas y el desarrollo de sus raíces. Asimismo, se ha observado que puede influir en la composición química de las plantas, en la disponibilidad de nutrientes en el suelo y en la activación de enzimas en ellas. Como resultado, este tratamiento podría contribuir a una producción más temprana y a un aumento en el rendimiento de cultivos (Zamora-Oduardo, 2020).

El tratamiento magnético del agua puede modificar sus propiedades físicas y generar efectos significativos en el crecimiento y desarrollo del cultivo de pimiento morrón, donde se observó una germinación más rápida en semillas tratadas con agua magnetizada. Además, se identificó una reducción en la evaporación del agua y una mayor retención de humedad en el suelo (Lorenzoni, 2021).

Investigaciones en semillas de trigo expuestas a campos magnéticos de 0,42 mT y 6,27 mT demostraron un aumento en la velocidad de germinación y la emergencia de plántulas en comparación con semillas no tratadas. La intensidad de 6,27 mT presentó los mejores resultados, con una mayor cantidad de semillas germinadas y una velocidad de emergencia superior a la del grupo testigo. Los resultados sugieren que el campo magnético puede favorecer procesos fisiológicos en la semilla, como la permeabilidad celular y el transporte de nutrientes (Huamaní, 2022).

Estudios realizados en distintos cultivos han señalado que el uso de agua tratada magnéticamente puede favorecer tanto la germinación de las semillas como el desarrollo inicial de las plántulas. En cultivos de pimiento, se ha reportado un aumento significativo en la longitud del tallo y de la raíz durante las primeras etapas de crecimiento. Asimismo, en el maíz se ha observado un incremento en la altura de las plantas y en la acumulación de materia seca, efectos que podrían estar relacionados con la disponibilidad y el aprovechamiento de los nutrientes (Insua, 2009; Lorenzoni, 2021).

El uso de agua magnetizada en sistemas de riego puede generar diversos efectos beneficiosos en los cultivos, entre los que destacan el incremento de la

producción agrícola, la disminución de la acumulación de sales en el suelo, una mejor absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas, el fortalecimiento del sistema radicular y una mayor eficiencia en el aprovechamiento de los fertilizantes (Luna, 2015).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

El experimento se estableció en las instalaciones del Campo Experimental Jardín Hidráulico del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Figura 2), con coordenadas geográficas de 28°05' de latitud norte y 101°22' de longitud oeste, a 1764 msnm.



Figura 2. Área del trabajo experimental, tomada de Google Earth (2026).

Características climáticas y edáficas del sitio experimental.

En el estado de Coahuila predomina un clima seco a semiárido. La temperatura es de 18 °C a 22 °C, con precipitaciones escasas concentradas principalmente durante el verano. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente de Coahuila, el promedio oscila en 350 mm en aproximadamente el 60 % de su superficie (SMA, 2022).

Propiedades físicas y químicas del suelo

De acuerdo con el análisis fisicoquímico realizado (Cuadro 2), el suelo presentó textura media y un pH de 8.36 en pasta saturada, lo que lo clasifica como medianamente alcalino. La conductividad eléctrica fue de 1.185 dS m⁻¹, valor que corresponde a un suelo muy ligeramente salino, condición que podría

limitar el desarrollo de cultivos sensibles a las sales. Los índices de sodicidad mostraron valores de 2.46 para la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y de 3.5 % para el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), lo que indica una baja susceptibilidad a problemas de sodificación y, por tanto, una mínima afectación de las propiedades físicas del suelo.

Cuadro 2. Análisis físico-químico de suelo del sitio experimental

ANÁLISIS DE FERTILIDAD DE SUELOS									
Clase Textural:	% Arena:	% Arcilla:	% Limo:	Clave:	T. Textura:	Profundidad (cm):			
Franca	44	22	34	F	Media	30			
Saturación (%):	CC (%):	PMP (%)	Da (g/cm³):	pH _{ec} :	CE _{ec} (dS/m):	RAS _{ec} :	PSI _{ec} :	CaCO ₃ -Tot(%):	CIC(meq/100g):
49.51	30.2	15.1	1.20	8.36	1.19	2.46	3.5	61.7	20.55

Parámetros	Resultados	Interpretación	Rango	Parámetros	Resultado
Materia Orgánica (MO, %):	2.89	Moderado Alto	0.80 - 4.00	Materia Orgánica (ton/ha):	103.45
Nitrógeno (N-NO3, ppm):	32.78	Medio	6.7 - 66.8	Nitrógeno (Kg/ha):	117.32
Fosforo disponible (P, ppm):	113.85	Muy Alto	4.00 - 36.00	P ₂ O ₅ (Kg/ha):	934.37
Potasio Extraíble (K, ppm):	310.75	Moderado Alto	100 - 1000	K ₂ O (Kg/ha):	1340.22
Calcio Extraíble (Ca, ppm):	3705.63	Moderado Alto	500 - 6000	CaO (kg/ha):	18555.05
Magnesio Extraíble (Mg, ppm):	197.20	Moderado Bajo	50 -1200	MgO (kg/ha):	1170.26
Cobre (Cu, ppm):	1.25	Moderado Alto	0.20 - 2.50	Cobre (Kg/ha):	4.48
Fierro (Fe, ppm):	7.18	Moderado Bajo	3.00 - 50.00	Fierro (Kg/ha):	25.69
Zinc (Zn, ppm):	12.99	Muy Alto	0.30 - 8.00	Zinc (Kg/ha):	46.49
Manganeso (Mn, ppm):	17.52	Moderado Alto	2.00 - 50.00	Manganeso (Kg/ha):	62.70
Azufre (S, ppm):	23.62	Alto	3.00 - 25.00	Azufre (Kg/ha):	84.55
Boro (B, ppm):	1.70	Moderado Alto	0.30 - 3.00	Boro (Kg/ha):	6.10
Sodio Extraíble (Na, ppm):	78.32	Valores bajos son más adecuados para el desarrollo de los cultivos, interpretar en conjunto con RAS y PSI			

Otras determinaciones					
Cationes Solubles	Resultados	Aniones	Resultados	Cationes Intercambiables	Resultados
Sodio (meq/L)	3.64	Carbonatos (meq/L)	0.00	Sodio (meq/100g)	0.34
Potasio (meq/L)	0.52	Bicarbonatos (meq/L)	3.50	Potasio (meq/100g)	0.78
Calcio (meq/L)	2.94	Cloruros (meq/L)	2.80	Calcio (meq/100g)	18.53
Magnesio (meq/L)	1.46	Sulfatos (meq/L)	3.00	Magnesio (meq/100g)	1.64
		Nitratos (ppm)	7.58		
		Fosfatos (ppm)	10.80	Cal Activa (%)	23.25

Fuente: Laboratorio Nacional de Análisis de Agua, Suelo, Planta y Atmósfera, 2024.

Propiedades físicas y químicas del agua de riego

El análisis de agua (Cuadro 3) mostró una CE de 0.75 dS/m ligero o moderadamente tolerables y buena para el cultivo. De acuerdo con el pH mostrado en la tabla de salinidad el agua se encuentra con pH dentro del rango normal; en función a su valor de conductividad eléctrica, esta presenta restricción ligera. Asimismo, considerando sus valores de RAS y CE esta puede clasificarse, según el riesgo de infiltración como sin restricción de uso por problemas de infiltración. Esta presenta sin restricción; con respecto para uso con riego por aspersión; con respecto a los contenidos de bicarbonatos esta se clasifica como con restricción ligera para su uso en riego por aspersión.

Con respecto a la toxicidad a iones específicos y la sensibilidad del cultivo para estos, el contenido de sodio, de acuerdo al valor de RAS y/o RASaj, se presenta sin: restricción; el contenido de cloruros la clasifica como: sin restricción; con respecto al contenido de boro se clasifica como: sin restricción y/o no analizado. Con respecto a nutrientes y elementos trazas y en función del cultivo en el que se empleará el agua analizada, este puede presentar síntomas de toxicidad específica a los compuestos y/o elementos que están por arriba del límite recomendado, como lo son: sin elementos fuera del rango y/o no solicitados.

Cuadro 3. Análisis de agua del sitio experimental

Cationes y Aniones	Símbolo	Rango	Resultado
Calcio (meq/L)	Ca ⁺⁺	0-20	2.36
Magnesio (meq/L)	Mg ⁺⁺	0-5	2.25
Sodio (meq/L)	Na ⁺	0-40	2.49
Potasio (meq/L)	K ⁺	0-0.5	0.26
Carbonatos (meq/L)	CO ₃ ⁻	0-0.1	0.80
Bicarbonatos (meq/L)	HCO ₃ ⁻	0-10	3.60
Cloruros (meq/L)	Cl ⁻	0-30	0.98
Sulfatos (meq/L)	SO ₄ ⁻	0-20	2.50
Salinidad	Símbolo	Rango	Resultado
Conductividad Eléctrica (dS/m)	ECw	0-3.00	0.75
Sólidos totales disueltos (ppm)	STD	0-2000	479.36
Potencial de Hidrógeno	pH	6.0-8.5	8.23
RAS	RAS	0-15	1.64
RAS Ajustado	RASaj	0-15	1.81
Nutrientes y Elementos traza	Símbolo	Rango	Resultado
Nitratos (ppm)	N-NO3	0-10	4.24
Amonio (ppm)	N-NH4	0-5	NS
Fósforo (ppm)	P-PO4	0-2	NS
Cobre (ppm)	Cu	0-0.2	ND
Fierro (ppm)	Fe	0-5.0	ND
Zinc (ppm)	Zn	0-2.0	ND
Manganeso (ppm)	Mn	0-0.2	ND
Boro (ppm)	B	<2.0	0.22
Arsénico (ppm)	As	<0.1	NS
Flúor (ppm)	F	<1.0	NS
Plomo (ppm)	Pb	<5.0	NS
Cadmio (ppm)	Cd	<0.01	NS
Cromo (ppm)	Cr	<0.10	NS
Níquel (ppm)	Ni	SR	NS

Fuente: Laboratorio Nacional de Análisis de Agua, Suelo, Planta y Atmósfera (RASPA), 2024.

Establecimiento y manejo agronómico del cultivo

El estudio se realizó durante el ciclo agrícola otoño-invierno 2024–2025. La siembra del cultivo de ajo (*Allium sativum* L.) se realizó el 4 de noviembre de 2024. A partir de esta fecha se desarrolló el seguimiento agronómico del cultivo, abarcando todas las actividades experimentales desde la siembra hasta la cosecha, incluyendo el establecimiento del cultivo, la aplicación de los tratamientos, las evaluaciones de crecimiento y desarrollo, así como la medición de las variables de rendimiento y calidad.

La preparación del terreno se realizó en dos pasos de rastra, con el fin de desmenuzar los terrones y eliminar los residuos vegetales presentes en el área experimental (Figura 3). Posteriormente, se efectuó el barbecho; una vez acondicionado el terreno, se procedió a su nivelación y a la formación de camas mediante una surcadora. Se establecieron 48 camas de 5 m de longitud y 1 m de ancho.



Figura 3. Preparación del terreno previo al establecimiento del cultivo de ajo.

Programa nutrimental y dosis de aplicación

La fertilización del cultivo se efectuó de acuerdo con los requerimientos nutricionales del ajo y con los resultados de los análisis del suelo y del agua. Se aplicó fertilización de fondo con fosfato monoamónico y sulfato de potasio al momento de la siembra. Posteriormente, se aplicó nitrógeno en forma de urea mediante el sistema de riego por goteo durante el desarrollo vegetativo del cultivo (Cuadro 4).

La dosis total de nutrientes se fraccionó en diez aplicaciones, realizadas a intervalos de 15 días durante todo el ciclo de crecimiento del cultivo, con el fin de

asegurar una disponibilidad continua de nutrientes y mejorar su eficiencia de aprovechamiento por parte de las plantas.

Cuadro 4. Dosis de aplicación nutrimental

Etapa	Duración Días	Nitrógeno (N) kg ha ⁻¹	Fosforo (P) kg ha ⁻¹	Potasio (K) kg ha ⁻¹
Germinación	14-28	40-50	20-30	20-30
Desarrollo vegetativo	30-60	100-120	30-50	50-70
Formación del Bulbo	60-90	50-60	40-50	80-100
Maduración	20-30	20-30	20-30	40-50
Cosecha	Varía según condiciones	N/A	N/A	N/A

Fuente: Elaboración propia, 2024.

Control fitosanitario

El manejo fitosanitario del cultivo de ajo se basó en la implementación de prácticas preventivas orientadas a reducir la incidencia de plagas y enfermedades, priorizando estrategias de monitoreo fitosanitario y de manejo integrado de plagas. Una de las actividades más importantes fue el control de malezas mediante labores culturales, puesto que su presencia no solo compite por nutrientes, sino que también favorece el desarrollo de patógenos como *Fusarium spp.*, *Penicillium spp.* y *Sclerotium cepivorum*.

El control de malezas se realizó mediante deshierbe mecánica y manual, con cinco intervenciones a lo largo del ciclo del cultivo. Esta práctica permitió reducir la presencia de hospederos alternos y disminuir las condiciones favorables al desarrollo de patógenos asociados al suelo. De manera complementaria, se realizaron aplicaciones foliares de productos fitosanitarios, lo que contribuyó al

mantenimiento de la sanidad del cultivo y a la reducción de los daños ocasionados por plagas y enfermedades durante su desarrollo.

Para el control de malezas se aplicaron los herbicidas clethodime (130 mL/L) y trifluralina (20 mL/L). Mientras que, para el control preventivo de hongos se aplicaron los siguientes productos: azoxistrobin (75 mL/L), tebuconazol concentrado emulsionable (75 mL/L), procloraz (20 mL/L), benomilo (0.1 kg/L).

Riego del cultivo

La aplicación del riego se efectuó de manera uniforme mediante un sistema de riego por goteo utilizando una cintilla de la marca Toro (Irrifresh), con espesor de 0.2 mm, diámetro de 16 mm, calibre 8,000, equipada con goteros de laberinto espaciados a 20 cm, con un gasto de 1.0 L h⁻¹. En cada cama de cultivo se instalaron tres cintas de riego correspondientes a tres líneas de plantación establecidas en doble hilera, a fin de asegurar una distribución uniforme del agua en la zona radicular de las plantas.

El volumen y la frecuencia de riego se determinaron con base en la tensión de humedad del suelo, estableciéndose un umbral de 35 kPa como criterio para la aplicación del riego. Cuando la tensión de humedad alcanzaba dicho valor, se realizaba el riego para mantener condiciones adecuadas de disponibilidad hídrica para las plantas.

Magnetización del agua de riego

Cuando el agua se somete a un campo magnético, se alteran algunas propiedades físicas y químicas, como la reducción del tamaño de los aglomerados, el aumento de la ionización, la disolución de minerales y la reducción de la tensión superficial. Estos cambios en las propiedades del agua favorecen el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Tamari, 2001; Zamora-Oduardo, 2020).

El agua se magnetizó con un filtro de la marca SUPER WATER de 2 pulgadas de diámetro que genera un campo magnético de 13,000 gauss.

Diseño estadístico experimental

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos (riego de las plantas con agua magnetizada y con agua sin magnetizar) y cuatro repeticiones, para un total de ocho unidades experimentales (Figura 4).

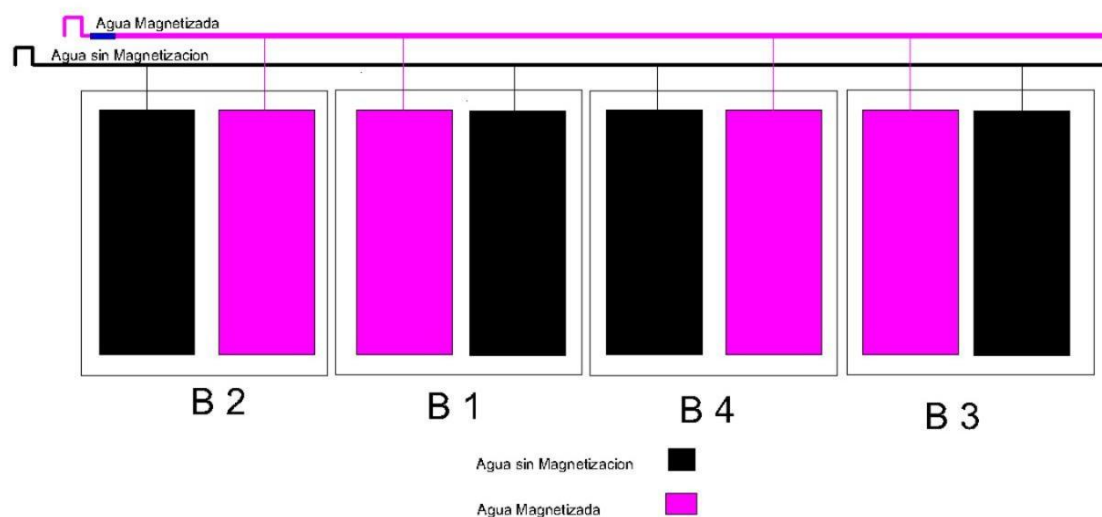


Figura 4. Distribución de los tratamientos en un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones.

Variables de respuesta

Las variables de respuesta evaluadas fueron: peso fresco del bulbo (g), diámetro polar y ecuatorial del bulbo (mm), número de dientes por bulbo, grados Brix (mg/g) y pH del jugo de los dientes del bulbo. Cada unidad experimental fue el promedio de 20 mediciones.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Peso fresco del bulbo

El riego de las plantas con agua magnetizada no afectó el peso fresco de los bulbos (Figura 5: Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto indicó que regar con agua magnetizada o no magnetizada da como resultado el mismo peso fresco del bulbo. Esto se debió a que el efecto del campo magnético (13,000 gauss) sobre las propiedades físicas y químicas del agua (disminución del tamaño de los aglomerados de moléculas de agua, aumento de la ionización, incremento de la disolución de minerales y reducción de la tensión superficial) no tuvo efecto en la fisiología de las plantas relacionada con el peso fresco de los bulbos.

Este resultado difiere del reportado en otros estudios, en los que el riego de las plantas de ajo cv. Sides 40 mostró un mayor rendimiento que el obtenido en las plantas regadas con agua no magnetizada (Ibrahim *et al.*, 2024). En otros cultivos, como el tomate (*Solanum lycopersicum*), también se han reportado incrementos en el rendimiento al regar las plantas con agua magnetizada (Helaly, 2018; Sun, 2024).

Durante el ciclo de crecimiento de las plantas (del 4 de noviembre de 2024 al 15 de mayo de 2025), se tuvieron 43 eventos de lluvia, con una precipitación total de 31 mm. Muy probablemente, las condiciones climáticas, inducidas por las lluvias registradas, neutralizaron el efecto de los riegos con agua magnetizada sobre el rendimiento de las plantas.

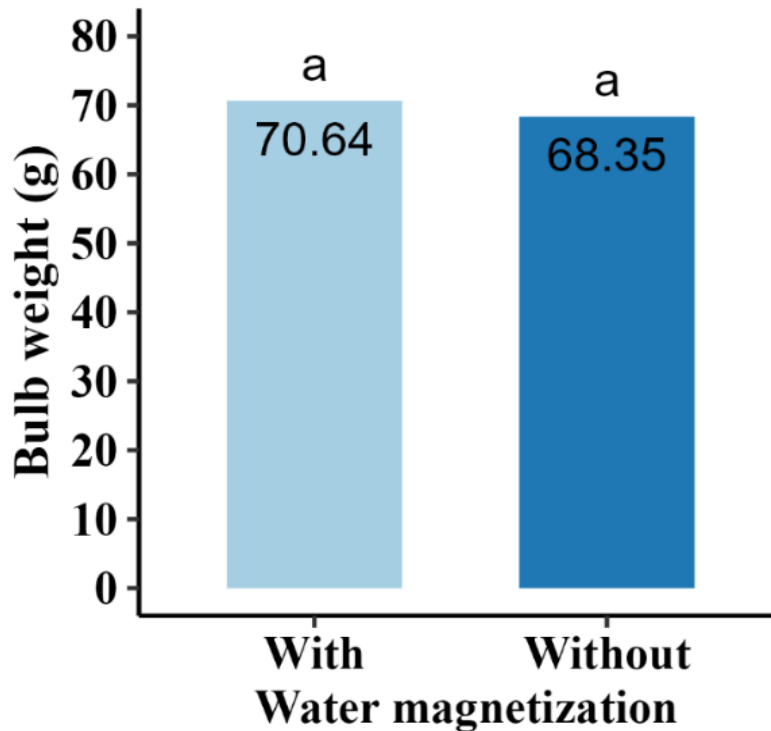


Figura 5. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el peso fresco del bulbo (g) de las plantas de ajo cv. Barretero.

Diámetro ecuatorial del bulbo

Las plantas regadas con agua magnetizada presentaron un diámetro ecuatorial del bulbo mayor que el de las plantas regadas con agua no magnetizada (Figura 6; Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Este resultado muestra que el efecto del campo magnético en las propiedades físico-químicas del agua tuvo un efecto favorable en la fisiología de las plantas sobre el diámetro ecuatorial de los bulbos.

Estudios previos sobre el ajo también han mostrado incrementos en el rendimiento y la calidad del ajo cuando las plantas se riegan con agua magnetizada (Nabi *et al.*, 2019; Elsagan *et al.*, 2020; Ibrahim *et al.*, 2024). Incrementos en rendimiento debido al riego con agua magnetizada se han reportado en otros cultivos como en tomate (Torres C. D., 2008; Helaly, 2018), pepino (Al-Shrouf, 2014), berenjena (Gottam *et al.*, 2022).

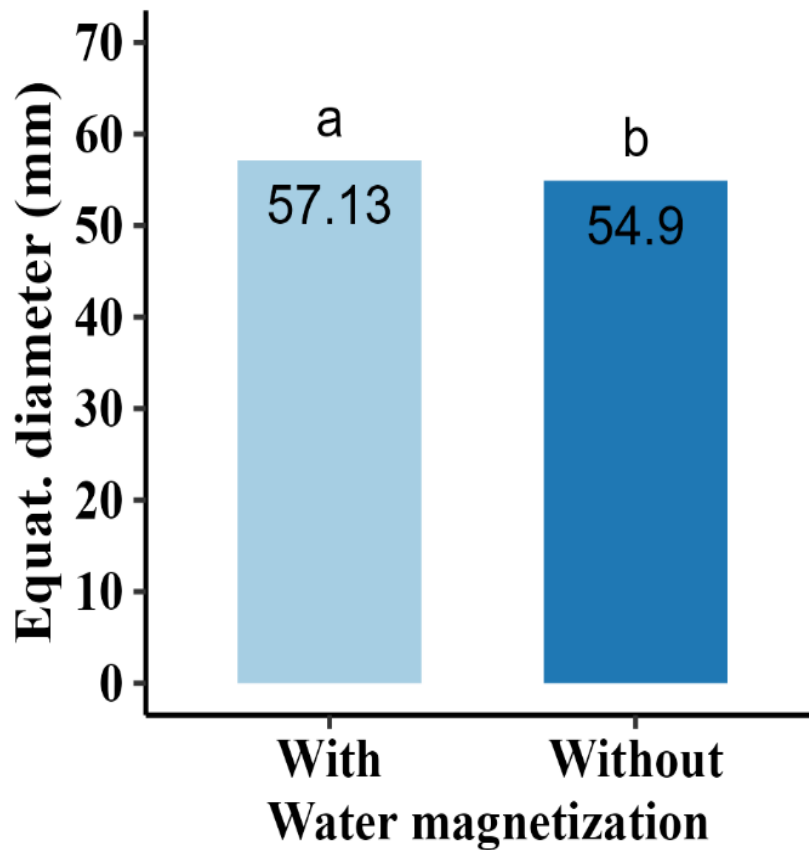


Figura 6. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el diámetro ecuatorial del bulbo (mm) de las plantas de ajo cv. Barretero.

Diámetro polar del bulbo

El riego de las plantas de ajo con agua magnetizada no afectó el diámetro polar del bulbo (Figura 7; Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Este resultado, nuevamente, indica que el efecto de la magnetización sobre las propiedades físicas del agua previamente mencionadas no fue suficiente para incidir en la fisiología de las plantas relacionada con el aumento del diámetro polar de los bulbos. Este resultado difiere de los de estudios previos, en los que se observaron incrementos en diversos parámetros del rendimiento del cultivo de ajo cuando las plantas se riegan con agua magnetizada (Nabi *et al.*, 2019; Elsagan *et al.*, 2020; Ibrahim *et al.*, 2024).

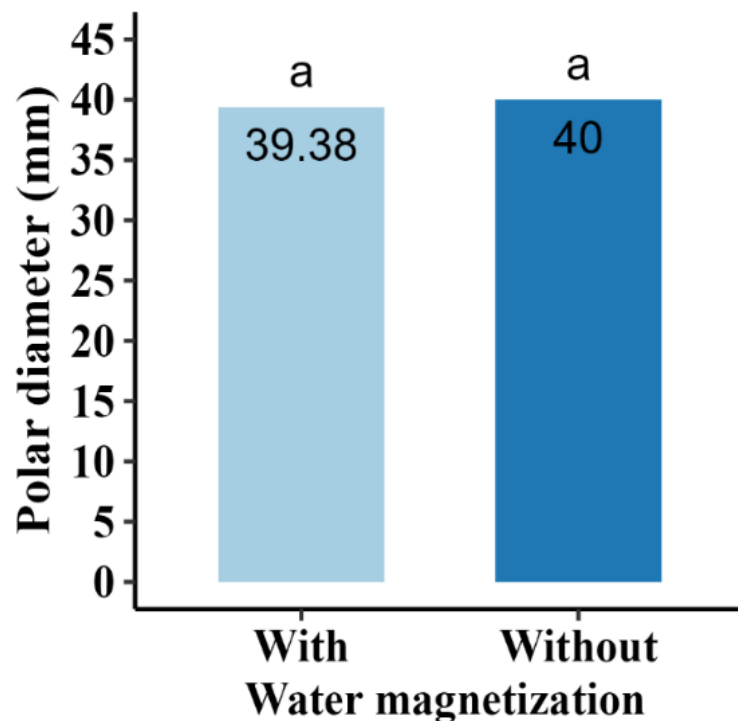


Figura 7. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el diámetro polar del bulbo (mm) de las plantas de ajo cv. Barretero.

Número de dientes de los bulbos

Las plantas regadas con agua magnetizada presentaron un mayor número de dientes del bulbo que las regadas con agua no magnetizada (Figura 8; Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Esto se debió al efecto del campo magnético en las propiedades físicas del agua, como la reducción del tamaño de los aglomerados de moléculas, el incremento de la ionización, la disolución de minerales y la reducción de la tensión superficial (Abdulhussein & Al-Saadi, 2021; Shemesh-Mayer, 2022; Omar et al., 2023), lo que mejoró la disolución, asimilación y transporte de nutrientes del suelo a las hojas. Estudios previos han reportado el incremento de distintos parámetros del rendimiento del cultivo de ajo por el riego de las plantas con agua magnetizada (Helaly, 2018; Nabi *et al.*, 2019; Ibrahim *et al.*, 2024; Yi, 2026).

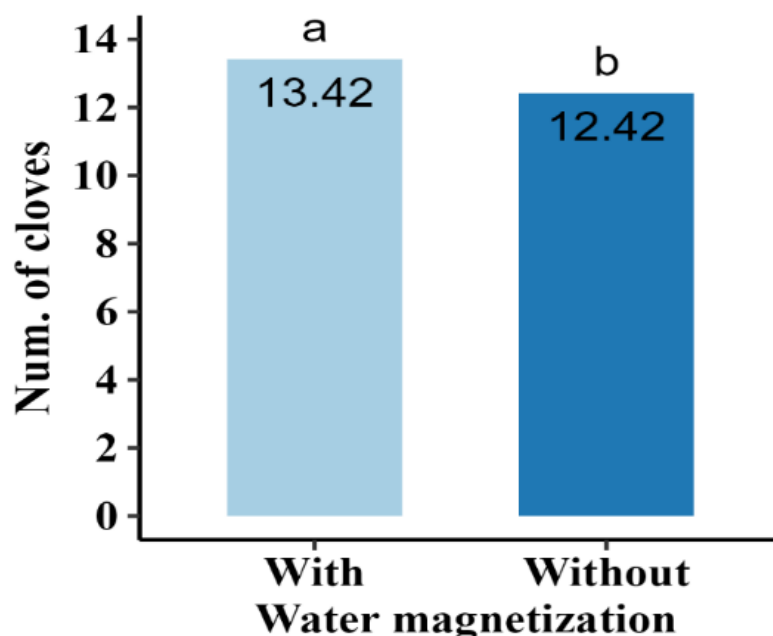


Figura 8. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el número de dientes de los bulbos de plantas de ajo cv. Barretero.

Grados Brix

Los grados Brix (mg/g) del jugo de los dientes de las plantas regadas con agua magnetizada fueron menores que los del jugo de los dientes de las plantas regadas con agua sin magnetizar (Figura 9; Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Lo cual se puede explicar por el efecto del agua magnetizada sobre las propiedades físicas del agua, que aumentó la disolución de sólidos solubles y redujo los grados Brix. El estudio de Abdel Nabi (2019) mostró un resultado similar, ya que el jugo de ajo de las plantas regadas con agua magnetizada presentó un menor contenido de azúcares totales, lo cual se atribuyó a una mayor absorción radicular del agua magnetizada, que redujo la concentración de solutos en los tejidos. De manera similar, Huang *et al.* (2024) indican que el riego con agua magnetizada mejora la conductividad hidráulica, la asimilación radicular y la tasa de fotosíntesis, lo que se traduce en una menor acumulación de solutos.

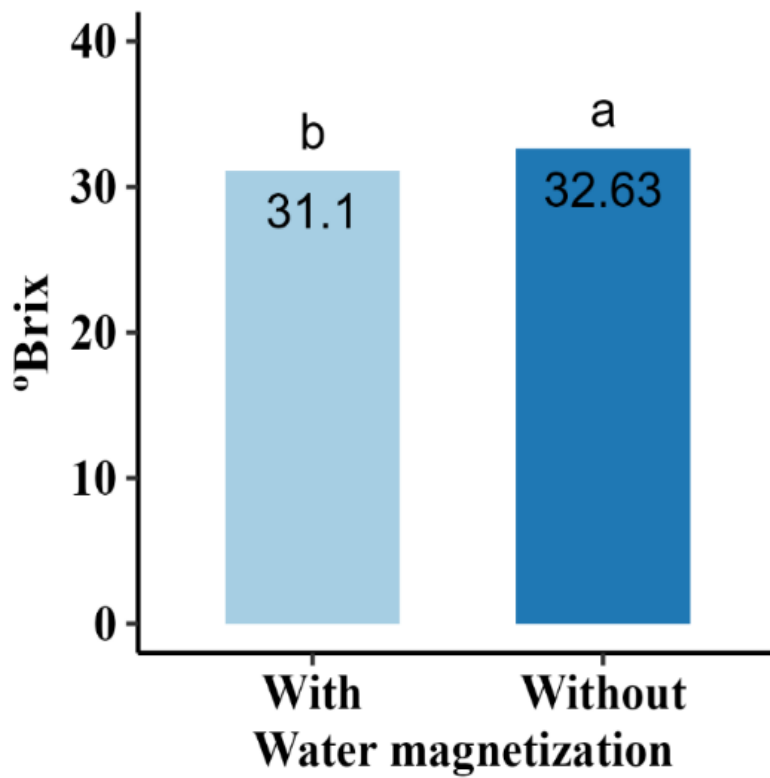


Figura 9. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre los grados Brix (g/mg) de los bulbos de plantas de ajo cv. Barretero.

pH del jugo de los dientes de ajo

El riego de las plantas con agua magnetizada no afectó el pH del jugo de los dientes de los ajos cv. Barretero (Figura 10; Tukey, $\alpha \leq 0.05$). El pH del jugo de los dientes es un valioso indicador de la composición química del ajo, determinado por el equilibrio iónico y el proceso de acumulación de solutos durante el crecimiento (Martínez *et al.*, 2023). Los valores de pH obtenidos en este estudio son apropiados para la conservación del ajo, ya que se encuentran dentro de rangos considerados estables para mantener la calidad fisiológica y de postcosecha del bulbo (Mujica y Mogollón, 2007; Petropoulos *et al.*, 2020). Los valores promedio de pH observados en este estudio fueron de 6.22 a 6.25, lo que refleja la estabilidad del pH del bulbo y que no depende del tipo de agua aplicada.

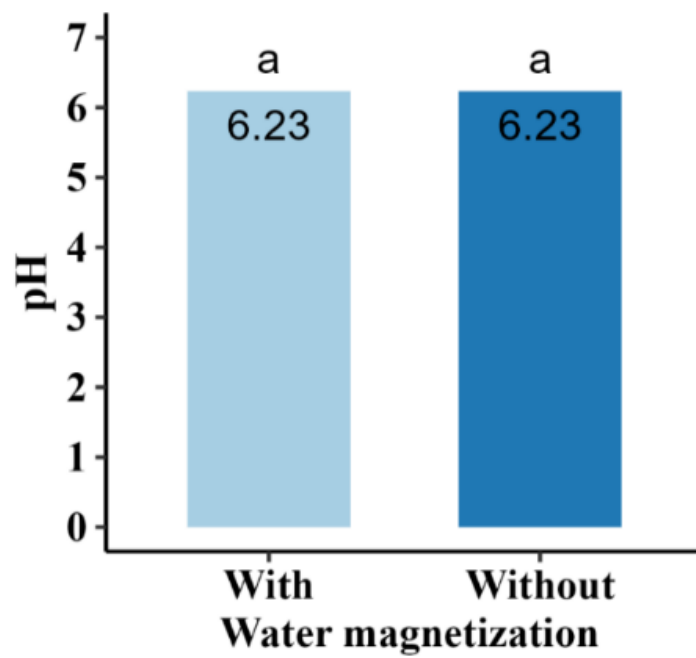


Figura 10. Efecto del riego con agua magnetizada y no magnetizada sobre el pH de los bulbos de plantas de ajo cv. Barretero.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio mostraron que los ajos de las plantas regadas con agua magnetizada presentaron un mayor número de dientes por bulbo, un mayor diámetro ecuatorial del bulbo y un valor menor de grado Brix del jugo de los dientes. El riego con agua magnetizada no afectó el peso fresco del bulbo, el diámetro polar ni el pH del jugo de los dientes de ajo.

Se recomienda adoptar el riego con agua magnetizada en la producción de ajo, ya que mejora la presentación y la calidad del ajo al aumentar el diámetro ecuatorial y el número de dientes por bulbo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdel Nabi, H. M. E., El-Shal, Z. S. A., Doklega, S., & Abdel Razek, M. E. A. (2019). Effect of magnetic water and fertilization requirements on garlic yield and storability. *Journal of Plant Production*, 10(2), 73-79.
- Abdulhussein, A. A., & Al-Saadi, M. A. H. (2021). Effect of magnetized water on some physical and chemical properties of water and plant growth. Institute of Physics Conference Series. *Earth and Environmental Science*, 779(1), 012104.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/779/1/012104>
- Al-Shrouf, A. M. (2014). The effect of magnetic treatment of irrigation water on cucumber production and water productivity. En *Acta Horticulturae* (Vol. 1054, pp. 111–117). *International Society for Horticultural Science*.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1054.12>
- Amaral, A. M., Brito, A. F. C., Santos, M. Â. C. M., & Silva, D. R. (2025). *Crescimento morfológico foliar de girassol em resposta à água magnetizada e níveis de reposição hídrica*. *Nativa*, 13(1), 1–10.
<https://doi.org/10.31413/nat.v13i1.18063>
- Baños, A., & Guillamón, E. (2014). Utilización de extractos de ajo y cebolla en producción avícola. *Selecciones Avícolas*, 56(1), 7-9.
- Barrios-Díaz, J. M., Larios-García, M. C., Castellanos, J. Z., Alcántar-González, G., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N., Tijerina-Chávez, L., & Cruz-Romero, W. (2005). Rendimiento y calidad de ajo con diferente manejo del riego por goteo. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(2), 233-239.
- Burba, J. L. (2003). Producción de ajo. Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. INTA EEA La Consulta. Mendoza, Argentina, 24-27.

Carbonell, M. V., Flórez, M., Martínez, E., & Álvarez, J. (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos contributions to the magnetic field: history and influence on biological systems. *Rev. Intropica*, 12(2),143-159.
<http://dx.doi.org/10.21676/23897864.2282>

Causapé, M. D. C. F. (2012). Aspectos culinarios y farmacéuticos del ajo. *Botanica complutensis*, 36, 131-137.
http://dx.doi.org/10.5209/rev_BOCM.2012.v36.39451

De Medeiros Rapôso, N. V., Boix, Y. F., Manrique, C. E. M., Dubois, A. E. F., Kindelán, G. A., & González, F. G. (2014). Efecto del agua tratada magnéticamente en la recuperación de plántulas de *Adenanthera pavonina* en estrés climático. *Revista Ibero-americana de Ciencias Ambientales*, 5(2), 6–17. DOI:10.6008/SPC2179-6858.2014.002.0001

Di Benedetto, Adalberto Hugo. *Ecofisiología de especies hortícolas*. 1.^a ed.
Corrientes: Profe Ediciones, 2023. Libro digital en PDF.

Elsagan, M. A. M., Suzan, R. M. F., & Mohamed, H. N. (2020). *Impact of magnetized water and some natural extract on growth and productivity of garlic under saline sandy soil conditions*. *Plant Archives*, 20(2), 8261–8270.

Espinosa Álvarez, R. F., Novoa Blanco, J. F., & Montero García, J. de la L. (1997). Un nuevo modelo de tratamiento en las ciencias médicas: el agua magnetizada. *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 13(6),584-587.

- Franco, H. E. C., Reyes, G. E. C., & Dallos, Y. S. (2014). Determinación de los requerimientos hídricos del ajo (*Allium sativum* L.) y su relación con estados fenológicos. *Cultura Científica*, (12), 56-64.
- García Gómez, L. J., & Sánchez-Muniz, F.J. (2000). Revisión: Efectos cardiovasculares del ajo (*Allium sativum*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50(3), 219-229.
- Grupo de Filogenia de Angiospermas, Chase, M. W., Christenhusz, M. J., Fay, M. F., Byng, J. W., Judd, W. S., ... & Stevens, P. F. (2016). Actualización de la clasificación del Grupo de Filogenia de Angiospermas para los órdenes y familias de plantas con flores: APG IV. *Revista botánica de la Sociedad Linneana*, 181(1), 1-20. <https://doi.org/10.1111/boj.12385>
- Helaly, A. A. (2018). Impact of irrigation with magnetized water under different levels of nitrogen and potassium fertilizers on growth and productivity of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(4), 1874-1884.
- Huamaní, E. H., Humpiri, J. M. T., Quispe, M. T., Vargas, A. M. C., Cruz, M. R. C., & Cáceres, J. Z. (2022). Estimulación de la germinación de semillas de trigo por exposición a Campos Magnéticos Estacionarios Stimulation of wheat seed germination by exposure to Stationary Magnetic Fields. *Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 3(4), 1-5. <https://doi.org/10.47190/nric.v3i4.6>
- Huang, C., Wang, R., & Liu, Y. (2024). Magnetized irrigation water alters root hydraulic conductivity and nutrient uptake in crops under soil moisture stress. *Agricultural Water Management*, 296, 108743. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108743>

Insua, D. A., García, C. P., Montiel, I. P., & Prado, E. A. S. (2009). Efecto del agua tratada magnéticamente sobre los procesos biológicos (*Magnetically treated water effect on biological processes*). *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 10(4).

Ibrahim, N. M., Ismail, S. A., & Abd El-Latif, K. M. (2024). The impact of irrigation levels with normal and magnetic water, bio fertilization on garlic growth, yield and storage. *Journal of Plant Production*, 15(3), 91-100.

Kishore, G., Singh, R. K., Saxena, C., Rajwade, Y. A., Singh, K., & Babu, B. (2022). *Magnetic treatment of irrigation water: Its effect on water properties and characteristics of eggplant (Solanum melongena)*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 34(9), 784–791.
<https://doi.org/10.9755/ejfa.2022.v34.i9.2945>

Lasso-Rivas, N. (2019). *Efectos positivos del campo magnético en plantas cultivadas*. *Intropica*, 14(2), 160–170.
<https://doi.org/10.21676/23897864.3066>

Lipinski, V. M., Gaviola, S., & Portela, J. A. (2012). Efecto del déficit de riego controlado en diferentes estadios del cultivo sobre el rendimiento de ajos colorados y castaños.

Lorenzoni, M. Z., Rezende, R., Seron, C. de C., & Souza, Á. H. C. de. (2021). Application of magnetically treated water during initial growth of bell pepper seedlings. *Idesia (Arica)*, 39(2), 67-74. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292021000200067>

- Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Morales-Maldonado, E., & Álvarez-Rivera, O. (2015). *Estrés por déficit hídrico en plantas: Una revisión. Agro Ciencia*, 31(1), 61–69.
- Macías-Duarte, R., Grijalva-Contreras, R. L., & Robles-Contreras, F. (2010). Productividad y calidad de variedades de ajo (*Allium sativum* L.) bajo condiciones desérticas en Caborca, Sonora. *Biotechnia*, 12(1), 44-54.
- Martínez, E., Carbonell, M. V., & Flórez, M. (2003). Estimulación de la germinación y el crecimiento por exposición a campos magnéticos. *Investigación y Ciencia*, 324, 24-28.
- Martínez, D., Pérez, J., & Gómez, L. (2023). Soil moisture and ionic balance effects on bulb quality and acidity in *Allium* species under controlled irrigation regimes. *Scientia Horticulturae*.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112012>.
- Maza, M. G., Guerra Ibáñez, G., Maza Hernández, J. C., & Cruz Dopico, A. (2014). *Revisión bibliográfica sobre el uso terapéutico del ajo. Revista Cubana de Medicina Física y Rehabilitación*, 6(1), 61–71.
- Meerow, A. W. (2023). Classification and phylogeny of Amaryllidaceae, the modern synthesis and the road ahead: a review. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 58(3), 355-373.
<https://doi.org/10.31055/1851.2372.v58.n3.40046>
- Mujica, H., & Mogollón, N. (2007). Características postcosecha del ajo (*Allium sativum* L.) en dos estados de madurez de cosecha. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(4), 563–575.

- Omar, A. A., Ahmed, A. F., & Awad, O. M. (2023). Influences of magnetically treated water on physicochemical properties of water and soil, vegetative growth, biochemical content, fruit quality and yield. *Egyptian Journal of Soil Science*, 65(1), 553–567.
<https://doi.org/10.21608/EJSS.2025.346187.1942>
- Pérez- Alcázar, G. A. (2016). Imanes permanentes: características, aplicaciones y futuro. *Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales*, 40(155), 221-233.
<https://doi.org/10.18257/raccefyn.361>
- Petropoulos, S. A., Fernandes, Â., Ntatsi, G., Petrotos, K., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2020). Nutritional value, chemical composition and bioactive compounds of garlic (*Allium sativum* L.): A review. *Food Chemistry*, 310, 125981.
- Pinzón, H. (2003). El cultivo del ajo (*Allium sativum* L.). *Producción de ajo*. Ediciones INTA.
- Ramírez-Concepción, H. R., Castro-Velasco, L. N., & Martínez-Santiago, E. (2016). Efectos terapéuticos del ajo (*Allium sativum*). *Revista Salud y Administración*, 3(8), 39-47.
- Ramírez-Jiménez, G., Alvarado-Gómez, O. G., Torres-de la Cruz, M., Mayo-Hernández, M. Á., Huamán-Pilco, Á. F., & Díaz-Valderrama, J. R. (2025). *Caracterización y sensibilidad a fungicidas de hongos causantes de deterioro postcosecha en Allium sativum, Nuevo León, México*. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 43(2), RMEXFIT24062.
<https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.2406-2>

- RAMÍREZ, P. (1996). Botánica, morfología y fisiología. El cultivo de ajos y cebollas en Colombia. Corpoica, ICA, Pronatta. Santa Fé de Bogotá, 9-17.
- Reveles-Hernández, M., Velásquez-Valle, R., & Cid-Ríos, J. Á. (2017). Barretero: Nueva variedad de ajo jaspeado para Zacatecas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(6), 1455–1462.
- Reveles-Hernández, M., Velásquez-Valle, R., & Bravo-Lozano, A. G. (2009). *Tecnología para cultivar ajo en Zacatecas* (Libro Técnico No. 11). Campo Experimental Zacatecas, Centro de Investigación Regional Norte Centro (CIRNOC), Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).
- Ríos, A. F., Jiménez, P. D. M., Rivera, N. S. R., & Oviedo, D. B. (2024). *La alicina: Un compuesto vital para la salud cardiovascular y la reducción de la presión arterial*. *Farmacología*, 2(4), 12. <https://doi.org/10.58713/rf.v2i4.2>
- Ruiz Corral, J. A., Medina García, G., González Amaro, I. J., Flores López, H. E., Ramírez Ojeda, G., Ortiz Trejo, C., Byerly Murphy, K. F., & Martínez Parra, R. A. (2013). *Requerimientos agroecológicos de cultivos* (2.^a ed., Libro Técnico Núm. 3). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro (CIRPAC), Campo Experimental Centro Altos de Jalisco.
- Secretaría de Economía. (2024). *Data México: Ajos frescos o refrigerados*. Gobierno de México. Recuperado el 13 de mayo de 2026, de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/garlic-fresh-or-chilled>

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Producción agrícola: Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON)*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/siap>
- Santamaría, J. J. V. (2016). La historia del campo magnético terrestre registrada en las rocas. Fundamentos del Paleomagnetismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(3), 261-261.
- Sánchez-Toledano, B. I., Borja-Bravo, M., Figueroa-González, J. J., & Arellano-Arciniega, S. (2026). Importancia socioeconómica y competitiva de la cadena productiva de ajo (*Allium sativum*) en Zacatecas, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 23(1), 42–55. <https://doi.org/10.22231/asyd.v23i1.1743>
- Stavělíková, H. (2008). Morphological characteristics of garlic (*Allium sativum* L.) genetic resources collection – *Information*. *Horticultural Science*, 35(3), 130–135. <https://doi.org/10.17221/661-HORTSCI>
- Shemesh-Mayer, E., Faigenboim, A., Ben Michael, T. E., & Kamenetsky-Goldstein, R. (2022). Integrated genomic and transcriptomic elucidation of flowering in garlic. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(22), 13876. <https://doi.org/10.3390/ijms232213876>
- Sun, Y., Zhou, C., Wang, C., Wang, Q., Liu, Y., & Wang, J. (2024). Responses of water and fertilizer utilization efficiency and yield of cotton to foliar biostimulant under irrigation with magnetic–electric-activated water. *Agronomy*, 14(9), Article 2117. <https://doi.org/10.3390/agronomy14092117>
- Tamari, S., Arroyo Correa, V., & García Villanueva, N. (2001). El tratamiento electromagnético del agua, ¿una tecnología comprobada? *Ingeniería Hidráulica en México*, 16(3): 47-55

- Torres, C., Díaz, J. E., & Cabal, P. A. (2008). Efecto de campos magnéticos en la germinación de semillas de arroz (*Oryza sativa* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Agronomía Colombiana*, 26(2), 177-185.
- Torres, J. I., & Salazar, J. A. (2005). Modelamiento y simulación de campo magnético a frecuencia extremadamente baja en circuitos secundarios. *Scientia et technica*, 3(29).
- Velarde-Mendívil, A. T., Camarena-Gómez, D. M., & Salgado-Beltrán, L. (2021). Preferencias hacia la marca y origen del ajo (*Allium sativum* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 38(3), 732-749.
[https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n3.15](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n3.15)
- Vivas-Carmona, Luis Enrique. (2017). El Manejo Integrado de Plagas (MIP): Perspectivas e importancia de su impacto en nuestra región. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 5(2), 67-69.
- Wang, M., Ye, Y., Chu, X., Zhao, Y., Zhang, S., Chen, H., Qin, W., & Wang, Y. (2022). Responses of garlic quality and yields to various types and rates of potassium fertilizer applications. *HortScience*, 57(1), 72–80.
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI15984-21>
- Yi, G., Quanjia, W., Jihong, Z., Kai, W., & Kang, W. (2026). How the timing of magnetized brackish water irrigation affects the spatiotemporal distribution of soil water and salt and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield. *Irrigation Science*, 44(2), 42.

Zamora-Oduardo, D., Rodríguez-Fernández, P., Ferrer-Dubois, A., Fung-Boix, Y., Isaac-Aleman, E., & Asanza-Kindelán, G. (2020). Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego con agua magnetizada en casa de cultivo protegido. *Ciencia en su PC*, 1, 60-74.